指定閱讀

中國科技發展概覽

楊綱凱

香港中文大學 物理系

二零二二年 七月

許嘉琳 譯

前言

香港中文大學由 2022 至 2023 學年起為全體本科生開設「認識中國」網上課程，課程的其中一個範疇是「中國科技發展概覽」，此為**指定閱讀篇章**。

在兩小時的網上課程中，涉及的內容較廣，指定閱讀無法全面涵蓋。在此，則只挑選若干課題，作較深入探討，深度以大學通識教育課程為準。篇幅亦作限制，各章大致獨立，不求緊密連接。讀者可以參考網上講課和延伸閱讀篇章 (見下文)，以更連貫和全面地了解課題。

包括指定閱讀篇章在內，共有三個相關文本：

A: 延伸閱讀篇章，同時是我個人學習、整理的札記。

B: 指定閱讀篇章，是為延伸閱讀篇章的節錄。

C: 課程講稿。

作為通識課程的參考材料，所有內容皆匯集自不同的經典著作，並無我個人的研究心得或原創見解，惟個別環節偶有個人觀點。

此課程是為所有中大同學而設，包括國際生，因此所有文本原以英語撰書。此為指定閱讀篇章的中文譯本。參考文獻目錄請見延伸閱讀篇章。惟中文版引用的一些原文，則在此註明出處。外國人名按情況分別處理，但求方便讀者，格式不硬性統一。耳熟能詳者只列中文譯名 (如哥倫布)；其他一般直接引用英文 (如 Oppenheimer)，畢竟多音節的音譯相當拗口，也不好記；個別名字或常在中文書籍出現，則中英並列 (如費曼 Feynman， 馮卡門 von Karman)，以便引索。

鳴謝

首先，感謝陳金樑教授和潘偉賢教授邀請我參與此課程，能與本課程的其他老師合作，與有榮焉。其次，感謝大學通識教育部李行德教授和其他同事，尤其是張敏詩女士，給予大力支持，為課程的開設作了不少協調。

雖然我一直對中國科技的歷史和發展感興趣，但在這方面的認識只及皮毛，感謝王淑英教授為我提供更深入學習的動機。王教授多年來負責學生國際交流事務，在 2018 年，中大與史丹福大學達成學生交流協議，王教授於是提議在中大開設中國科技的科目，裨讓史丹福大學的學生修讀。課程由好幾位同事合作，我充當協調，分別在 2019、2020、2021 年的秋季學期開辦了三次。惟基於疫情等意想不到的情況，最後只有很少史丹福學生修畢這課程。儘管如此，這個課程同時納入大學通識課程，隸屬「中華文化傳承」類別，三年當中有不少中大同學選修。由此，這個課程既是一個中國研究學科，又是一個通識課程。整個課程由中國研究中心負責，在此，感謝楊凱里教授和中心同事的支持，尤其是楊藝為女士，她是 2020、2021 學年的課程助教，期間工作熱誠能幹。

我借鑒了多位老師在過去三年的講義以撰寫這閱讀篇章，特別感謝陳方正博士，他是這方面真正的專家，課程設計有賴他的真知灼見。其他過去三年參與講課的老師包括：彭金滿博士、黎志添教授、姜元安教授、張學明教授和香港科技大學的唐立教

授。諸位涉獵的範疇眾多，儘管不能全部納入兩小時線上課程中，但我透過閱讀他們的講義和聆聽講課，增進了不少的知識，甚有裨益。更具體的鳴謝見於下文各個章節。

在撰寫的過程中，有賴彭金滿博士、王永雄博士的鼎力支持，為我提點某些原始文獻材料，更正了我不少的錯處，又協助校對文字和搜尋圖片(包括視頻錄影中的圖片)，在此向兩位致謝。另一方面，感謝陳方正博士、張學明教授、李行德教授和梁元生教授對文本的初稿給予寶貴的意見。而謝作偉教授、朱明中教授、盧煜明教授對文本的幾個專業範疇給予詳細的意見，不勝感荷。

將書寫的文本轉化為網上課程，需要添加不少視聽效果，絕非易事。尤其是對於我們老一輩的教師來說，習慣以文字和紙本作為學術載體，對網上電子視聽功能感到困難且陌生。在這方面，我格外感謝中大電子學習支援團隊的羅翠嬋女士、蘇佩琳女士、資訊科技服務處的周儒迪先生和學能提升研究中心的董霽暄女士的幫忙。亦感謝彭金滿博士和王永雄博士樂意負責學生的科目評鑑。

許嘉琳女士將指定閱讀篇章譯成中文，特此鳴謝。

上述的工作於 2021 至 2022 年期間共花了數月完成。若然沒有上列諸位的慷慨幫忙和精神上的支持，根本無法成事。本文僅代表個人看法，若有不周之處，責任一概由本人承擔。

寄語學生

同學們在閱讀下文前，理應已完成網上的聽課，我建議同學第一次閱讀文本時，採取快速閱讀雜誌或報紙的方式，不必過於斟酌細節和註釋。由於部分的課題 (如天文和數學) 要求讀者有一定的基礎數理知識，未必適合所有同學，因而未有囊括在此，同學若感興趣，可參考延伸閱讀。

目錄

第一章　四大發明 5

1.1 指南針 5

1.2 火藥 6

1.3 造紙術 6

1.4 印刷術 7

第二章　李約瑟問題 8

2.1 最先提出問題：任鴻雋 8

2.2 李約瑟生平 9

2.3 他的鉅著 9

2.4 李約瑟論點 10

2.5 李約瑟論點的評價和更恰當的解說 11

第三章　兩彈一星 13

3.1 核武器 13

3.2 火箭與衛星 15

第四章　激光、胰島素、癌疾療法 17

4.1 激光 17

4.2 胰島素 17

4.3 癌疾療法 19

第五章　近年的科技進步 20

5.1 改革與開放的年代 20

5.2 經濟發展及其他指標 21

5.3 近年在科學和技術上的成就 23

第六章　基礎科學 25

6.1 中微子的嬗變 25

6.2 血漿內的 DNA 27

6.3 初探基礎科學薄弱之原因 27

第一章　四大發明

培根在《新工具》(Bacon, 1620, *Novum Organum,* cited in *SCC*5-7, p xxx)[1] 中指出中國古代四大發明——指南針、火藥、造紙術、印刷術——全面改變了世界文明的面貌。

1.1 指南針 (See *SSCC*3, Chapter 1)

羅南和李約瑟視磁引力的發現為「中華文化對物理學的最大貢獻」。

自公元一世紀，磁石可能已應用於占卜盤。在一千年後的文本，記載了關於磁引力現象和指南針於航海的應用 (*SSCC*3, p 2)。詳細的觀察紀錄包括：磁石的指向、兩個極性、磁針不完全對準南北、[2] 鐵可以被磁化 (但銅不能，陶器也不能)。更有精巧方法，使磁針的輕微轉動容易呈現，例如：將磁勺放置在光滑的平板上、將磁化物體浮在水面、將磁石磨成尖針，用細絲懸掛。

SSCC 引用了《淮南子》的語句，以說明古人對磁引力的認知：

> 若以慈石之能連鐵也，而求其引瓦，則難矣。[……]慈石能引鐵，及其于銅，則不能也。[3]

關於現象的解說 (用今天的說法就是基礎科學的理論解說) 卻頗為幼稚，甚至令人哭笑不得。古人一方面觀察入微，另一方面不求甚解，對自然現象流於表面，傾向於虛無飄渺的思維。

磁鐵最廣泛應用在占卜和風水 (*SSCC*3, p 6)。古人陷於迷信，無可厚非，但今人仍信占卜風水，端著羅盤四處堪輿，著實令人尷尬，也許這是國人對物理學最大的侮辱，這個說法正好與李約瑟的觀點相反。

指南針用於領航範疇的最早紀錄是 11 世紀。最著名 (儘管不是最早) 的海上探旅是鄭和下西洋。鄭和比哥倫布早一個世紀，曾率領龐大的船隊 (每艘船比哥倫布的大幾倍)「七下西洋」，[4] 到訪東南亞、印度、阿拉伯，遠至非洲。船舶日誌清楚地記錄指南針的使用。

指南針在歐洲人手中發揮了更為重要的影響。他們善於造船、勇於航海，垂涎遠岸寶藏，憑藉指南針引導，毅然揚帆西征，發現了美洲。其實，當時哥倫布航行的目的地是中國 (和印度)，但諷刺的是，他不知道為他引路的指南針就是由中國發明。

---

[1] 事實上，培根沒有將造紙術獨立列出。

[2] 即現今所言的地磁偏角。

[3] *SSCC* 英文原著所引《淮南子》，最後另有一句 "Such is the motion of the Dao"，大約以「此即道焉」之類的說法，托出古人滿足於表面類比。然而，筆者遍閱《淮南子》，不見此句，對照 *SSCC* 的中譯本 (李約瑟著，上海交通大學科學史系譯：《中華科學文明史》(上海：上海人民出版社，2002 年)，頁 4。) 相關段落亦無此句，令人費解；何寧：《淮南子集釋》(北京：中華書局，1998 年)，頁 460。

[4] 在英語文獻，鄭和被稱呼為「海軍上將」admiral，錯誤地傳達了軍事遠征的意思。其實他尊稱「三寶太監」，是個閹臣，而他的船隊被稱為「寶船」，並非海軍艦隊。

1.2 火藥 (See *SCC*5-7)[5]

西方一般所謂的 gunpowder 與火藥不盡相同。火藥一詞含義更廣，有燃燒爆炸的含義 (但沒有槍管的含義)，也暗示了與藥物的關聯。火藥起源於「古代宗教、禮儀和公共衛生的實踐，以香爐煙火驅邪辟毒」(*SCC*5-7, p 1)。最早可追溯至公元前 7 世紀 (*SCC*5-7, p 1)。

火藥的「火」更準確地概括從慢火燃燒到劇烈爆炸的整個範圍。慢燃和劇爆的分別在於成分的比例。而「藥」則說明炸藥的發現與藥物有關。火藥的配方看來甚似草藥處方。主要成分是是硝石、硫磺和木炭：硫磺容易點火，木炭可燃，硝石 (硝酸鉀，KNO_3) 為燃燒提供氧氣。約公元 850 年，道士 (*SCC*5-7, p 15) 在煉丹 (*SCC*5-7, p 7) 時，竟意外獲得火藥的成分組合。為求長生不老，居然發明了殺生武器，可謂諷刺。及後經過一連串有系統的研究，成分比例最終定為：硝石 75、硫磺 15、木炭 10 (*SCC*5-7, pp 94–108)。

根據 1044 年前後出版的《武經總要》，炸藥裡可以添加各種雜物，諸如松脂、少量大麻根、乾漆、砒霜、白鉛、竹根、紅鉛、[6] 黃蠟、清油、桐油和稠油，甚至令人噁心的乾糞。方法令人聯想巫師烹藥，全無科學章法，實在不敢恭維。

很多後來的進步都出自歐洲人之手，包括堅固的金屬槍管。從 13 世紀到 15 世紀，火炮應用更廣，使用技術更精。於火炮之前，城堡無以為守，歐洲封建體制也跟著衰落。至 19 世紀中國被侵略時，歐洲的槍炮和火力早已後來居上，遠勝於早年發明火藥的中國。

歐洲人憑著槍炮，[7] 大肆侵略中美洲和南美洲，徹底毀滅阿茲特克 Aztec 文明。歐洲人「征服」美國西部，有關歷史在許多牛仔影片中被浪漫化，歸根究柢是槍械壓倒原住民弓箭的故事。1879 年的祖魯 Zulu 戰爭，正正是非洲原住民在自己土地上以長矛抵抗英軍步槍，慘被屠殺的悲劇。

1.3 造紙術 (See *SCC*5-1, Chapter 32)

最早的文字可能於公元前 3000 年之前出現在美索不達米亞 Mesopotamia，人們利用蘆葦筆在濕粘土板上書寫，然後讓其凝固風乾。在及後的幾個世紀之內，埃及人發明了利用草紙卷軸 papyrus scroll 書寫。甚至有人會在羊皮紙和天鵝絨上書寫，但兩者十分昂貴，並不普及。

中國文字最早的記錄是 (約公元前 1600–1300 年) 刻在動物的貝殼和骨頭、青銅器皿、石碑上，更方便的是刻在竹簡或木簡上。至公元前 220 年左右，毛筆現世，並在竹簡上書寫 (但吸墨效果不佳)。及後，改用絲綢 (吸墨佳但昂貴)。在公元二世紀，蔡倫發明了造紙術，使文字得以更廣泛傳播。

---

[5] 據我所知，*SSCC* 最原始的版本 (第五卷) 並未有涉獵到「火藥」這個部分。

[6] 鉛氧化物是一種礦物，但當作為藥物使用時，劑量非常少。

[7] 還有其他因素，例如：殖民心態和優越的軍事組織。

造紙技術的本質時至今日仍然不變。置原材料 (木塊、竹片、黃麻、碎布或稻草) 於沸水中煮爛，令纖維鬆開，並攪成糊狀。然後，用一個平面的篩子，撈出纖維交錯的薄層，再放在陽光下曬乾，輕輕揭起，然後按壓。對於這個過程，有幾點評論。(1) 製作過程沒有基礎科學。(2) 多個技術步驟需要耐心地反復試驗。(3) 一旦掌握了箇中方法，就可以承傳和複製，成為家庭式手工業。以上皆是許多傳統中國科技成果的共同特點。

1.4 印刷術 (See *SCC*5, Chapter 32)

無庸置疑，印刷術源於篆刻和石墨拓印。雕版印刷 (不遲於公元 7 世紀) 算不上跳躍式的進步，發明者亦無從稽考。由於雕版工序繁複，在當時並沒有普及，用途大多限於佛經。

活字印刷約於 1045 年由畢昇發明：他為每個字符製作一個字模 (瓷、木或後來用金屬) [8]，將它們依照文本，排在印刷框上，以代替雕版。雖然活字印刷有其優勢，但也有局限：漢字繁多，每個字模都必須單獨製作。因此，雕版印刷未被取代，仍在往後多個世紀繼續使用。畢昇的發明記載於 1166 年的《夢溪筆談》，此書本身就是使用活字印製的。

約 1450 年，古騰堡 Gutenberg 發明活字印刷機，且比畢昇的更為優勝，包括以下元素：(1) 採用金屬活字 (約於 13 世紀在朝鮮發明，也在中國使用)。雖然它更為耐用，但在金屬上雕字的難度甚高，因此金屬雕字沒受到廣泛的採用。(2) 利用熔融金屬複製字模，即通過鑄造而不必逐一雕刻。然而，鑄造法並不是新發明，在中國早已為人熟知，雖然沒有備受重視和廣泛使用。[9] (3) 採用螺旋壓機印刷，即類似歐洲造葡萄酒和橄欖油所使用的螺旋壓榨機。(4) 隨着冶金技術的進步，出現了熔點較低的合金 (尤其是鉛合金)，鑄模更為容易。[10] (5) 其他改良包括研製較稀薄的油墨，使流動更為順暢。

以上種種的改良，加上字母語言所需的字模遠比漢字少，使古騰堡的活字印刷術在歐洲迅速傳播，其規模是中國幾個世紀以來所未見的。

[8] 畢昇在粘土上雕刻，將其燒成瓷器。

[9] 潘吉星 (2002, pp 188–207) 力陳中國的金屬字體是鑄造的，因為雕刻太費勁。他提出了幾個理據：首先，金屬活字幾乎不用於書籍，而主要用於紙幣中的序列號，因此傳世的證據很少。其次，「刻」這個詞往往被人們誤用，而人們實際上是要表達「鑄」的意思，反映當時人對兩者沒有明顯地區別。

[10] 古騰堡從事印刷行業之前，是一名金匠。

第二章　李約瑟問題

(感謝陳方正博士為本章提供寶貴的意見和建議相關教材。)

儘管國人常常對中國古代和中古時代的各種發明引以為傲，但到了 19 世紀，中國的科學已大幅落後於歐洲，情況顯而易見，且對國家之興衰，影響深遠。於是出現了這樣的問題：「為甚麼現代科學沒有在中國 (或印度) 文明中發展，而只在歐洲發展出來？」[11] 或者「為甚麼中國科學落後於西方？」這些問題雖然經常與李約瑟連繫，一般稱為「李約瑟問題」，但其實早已提出。

2.1 最先提出問題：任鴻雋

我們可以追溯至民國初年在外國的中國留學生。1914 年，一群在美國康乃爾 Cornell 大學的中國留學生在當地成立了中國科學社，任鴻雋是當中最活躍的成員。[12] 儘管當時不少知識份子都思考科學落後的原因，然而任鴻雋最早將問題宣之於筆墨，出版在 1915 年由他創辦的雜誌《科學》創刊號〈說中國無科學之原因〉一文。[13]

對於〈說中國無科學之原因〉一文，可作幾點評論：(1) 任鴻雋撰文的動機是「救國」。(2) 任鴻雋表面上似乎是討論「科學」，但事實上是討論「現代科學」，因為他提到西方科學只有三百年歷史。(3) 任鴻雋提出中國「未得研究科學之方法而已」為問題的答案，[14] 理由是中國欠缺以實驗為基礎的歸納法，同時，國人「騖於空虛而引避乎實際」，傾向於抽象的言論和思維。[15] 最後是「其察物也，取其當然而不求其所以然」，即是缺乏尋根究柢的好奇心。[16] (4) 任鴻雋在文中指出中國的科學精神薄弱，這一點在他日後的文章中有更詳盡論及。(5) 任鴻雋提出大部分的觀點頗有說服力，但諷刺的是，他的文章只限於表達個人的意見和猜想，其後參與辯論的不少文章亦如是，儘管他們自詡崇尚科學精神和實證，他們筆下的文章卻欠奉證據和科學精神。(6) 任鴻雋不失為秀才，古文流暢鏗鏘，要知道，白話文運動在當時剛開始。因此引出了有趣

[11] 李約瑟：《文明的滴定》(北京：商務印書館，2016 年)，頁 176。
[12] 任鴻雋的生平多姿多彩，事蹟跨越多個領域，他在清末考獲秀才，然後到日本修讀化學，同時在日本從事反清的革命活動。及後，在民國初年，孫中山短暫掌權，任鴻雋為臨時總統府秘書。其後他再次出國留學，先到康乃爾 Cornell，後到哥倫比亞 Columbia，完成碩士學位後回國，在北京大學任教。他在 1930 年出任四川大學校長，後任中央研究院秘書長。他對科學史深感興趣，認為要培養科學精神，就必須了解科學歷史。他是胡適的密友兼高中的同學，他們都先在康乃爾大學，然後在哥倫比亞大學讀書。
[13] 該雜誌在 1950 年代初經營困難，在 1957 年曾短暫復刊，仍由任鴻雋主領，至 1960 年因政治原因再次停刊。於 1985 年重新復刊，成為官方刊物，由著名的理論物理學家周光召主編，他是參與原子彈項目中最年輕的成員，後任中科院院長，退休後任人大副委員長。
[14] 任鴻雋：〈說中國無科學之原因〉，http://www.bjb.cas.cn/tbzt2016/dnzt/sd/jdwz/202008/t20200811_5652538.html (2022 年 5 月 29 日瀏覽)。
[15] 任鴻雋：〈說中國無科學之原因〉，http://www.bjb.cas.cn/tbzt2016/dnzt/sd/jdwz/202008/t20200811_5652538.html (2022 年 5 月 29 日瀏覽)。
[16] 任鴻雋：〈說中國無科學之原因〉，http://www.bjb.cas.cn/tbzt2016/dnzt/sd/jdwz/202008/t20200811_5652538.html (2022 年 5 月 29 日瀏覽)。

的問題：文中模糊和鬆散的論點 (當時的文人大多有同樣的問題) 是否與古文的寫作形式有關？[17]

2.2 李約瑟生平

李約瑟 Joseph Needham (1900−1995) 是劍橋大學的生物化學家，在二戰時期，他受英國皇家學會的委派，到重慶 (當時的陪都) 設立科學合作辦事處。[18] 在重慶期間，他發展了對古代中國科學的興趣。事實上，早在他來華之前，他對這方面的興趣已受他的學生魯桂珍啟發，魯桂珍後來成為了他一生的合作者，在晚年更成為了他的繼室。關於李約瑟的生平，可參考 1983 年他獲頒中大榮譽博士學位的讚辭。

李約瑟對古代中國科學史研究既深且廣，著作等身，是以聞名於世。[19] 他熱愛中國文化，同時，他有馬克思觀念的傾向，在當時1930年代的英國知識份子中並不稀奇。[20] 然而，他不是馬克思主義者，他不支持工人階級專政。就歷史觀而言，他同意馬克思所言，認為歷史的進程是受社會和經濟結構重大影響，但他不接受任何普遍的歷史發展規律。[21] 當他愈接觸中國歷史和文明，他對道家思想愈感興趣。馬克思歷史觀和道家思想影響了他對中國科學史的看法。

2.3 他的鉅著

一直以來，人們對中國科技的評估都犯了一個普遍的錯誤，就是沒有清楚區分傳統科學與現代科學。很多西方學者認為中國的科學一直比西方落後。[22] 這種說法一部分是出於無知，另一部分是出於嚴重的偏見，很多歐洲人認為：某些社會民族本質上就是落後 (「從他們落後的科學可見」)；炎熱潮濕的氣候更妨礙高階思維 (即使中國不是例子，印度一定是例子)。這些偏見美其名曰「歐洲中心主義」，事實上是不折不扣的種族歧視。若然你相信這種假設，問題就似乎迎刃而解。李約瑟窮幾十年之功，毫無疑問地證明了早年的中國科學有驕人的成就，在不少領域更走在西方前面，由此推翻了種族和氣候等論說，證明了中國科技並非自古以來一直比西方落後。[23] 李約瑟的論證非常重要，因為時至今天，種族歧視仍存在，仍有人認為非白人的科學無可能與西方科學平起平坐，遑論超越西方，甚至有人認為必須壓制任何非白人的科學冒起的勢頭。

---

[17] 〈說中國無科學之原因〉一文採用古文的寫作風格，引用典故和運用類比論證。譬如他在科學需要演繹和歸納法兩者兼備的論述中，寫道「論理學之要術有二，一曰演繹法，一曰歸納法。二者之於科學也如車之有兩輪，如鳥之有兩翼，失其一則無以用也。」可見他運用類比論證，仍保留中國古文的寫作特色。

[18] 他在 1941 年獲選為皇家學會院士 FRS，在 1942 年前往重慶。

[19] 溫契斯特《愛上中國的人：李約瑟傳》*The Man who Loved China* (Winchester, 2008) 是眾多寫李約瑟傳記中最著名的。

[20] 歷史中著名的「劍橋五人組」the Cambridge Five 就是成為蘇聯間諜的五位劍橋人。

[21] 「我一直不同意馬克思主義那種想要尋找一切文明『都必須經歷』的社會發展階段的一成不變和單一公式的思想傾向。」(李約瑟：《文明的滴定》，頁 177。)

[22] 其他非歐洲國家的科學亦然。

[23] 「從一開始，我就深深地懷疑能否用『自然—人類學』或『種族—精神』因素來有效地解釋文化，儘管很多人都對此感到滿意。」(李約瑟：《文明的滴定》，頁 177。)

李約瑟窮盡一生的工作於1954年發表在《中國之科學與文明》*Science and Civilisation in China*，簡稱 *SCC*。內容包括豐富的第一手素材，篇幅浩瀚，凡二十餘冊，即使是研究科學史的專家，也不容易完全消化。另有簡化本《中華科學文明史》[24] *The Shorter Science and Civilisation in China* (Ronan, 1978)，在此簡稱為 *SSCC*。雖曰簡化，仍有五冊之多。[25]

《中國之科學與文明》仔細地考察原始材料和經典文獻，揭示了上古年代的中國多元的發明和科學成就，構建中華古代文明的圖畫。李約瑟偏愛中國文化，因而行文有時失之偏頗，有時過於誇張，例如：他聲稱某些歐洲的發明來自中國，但事實上其中一些發明極可能是獨立的。又，他不只一次視古文獻中一些抽象含糊的說法為現代科學的起源或前身。然而，即使將以上過分的說法撇除，不得不承認的是，比起科學革命前的歐洲，傳統中國的科學成就斐然，甚至在不少領域領先。

惟上述結論並沒有解答科學落後的問題，而只是將重點聚焦在現代科學。面對此問題，應嘗試考察其反面：為何現代科學只在歐洲出現？如果我們明白，一直到16世紀，中國的科學絕不落後於歐洲，那麼問題的癥結就更清楚了。

2.4 李約瑟論點

李約瑟在《中國之科學與文明》中並無直接解答他自己提出的問題，亦無假設性論調，該鉅著只是整理及列出一手材料。但他在不同的演講中曾回應他自己提出的問題，其中重要的演講辭匯集在1969年出版的《文明的滴定》*The Grand Titration*。本文參考的便是其中的第六章〈中西方的科學與社會〉。

正如先前提及，李約瑟傾向在社會和經濟結構中尋找解釋。他在第六章提及：「我現在認為，對所有這些問題的回答首先在於不同文明的社會、思想、經濟結構。」[26] 他尤其強調歐洲與和中國的封建制度形式不同，見第六章：

> 因此，為了實現科學史家的目標，我們必須注意到孕育出商業及工業資本主義制度、文藝復興、宗教改革的歐洲貴族軍事封建制度，與中世紀亞洲所特有的其他形式的封建制度 (如果那確實是封建制度的話) 之間的一些本質差異。從科學史的角度來看，我們必須找到某種與歐洲確實不同的東西，才能有助於解決我們的問題。[27]

他引用了魏特夫 Wittfogel 提出的亞洲「官僚封建制度」：[28]

[24] 有時以羅南和李約瑟為共同作者。
[25] *SSCC* 的內容並不包括李約瑟去世後，學者對 *SCC* 的補充。
[26] 李約瑟：《文明的滴定》，頁 176。
[27] 李約瑟：《文明的滴定》，頁 177。
[28] 在希特勒之前的德國時期，魏特夫 Wittfogel 多多少少是位正統的馬克思主義者。

> 具有官僚性質的國家機器的產物，此國家機器由非世襲的精英來操作，以大量相對自治的農民群體為基礎，仍然保有許多部落特徵，農業與工業之間沒有或幾乎沒有勞動分工。[29]

國家官僚體系在防禦和公共工程兩方面發揮作用，從而獲得一般民眾接受。皇權之實施，並非通過劃地而治的封建公侯，而是通過非世襲的文官構成的官僚體系。他接著指出，這種官僚制度並不支持近代資本主義社會和近代科學：「中國文明中絕不可能出現一種以商業為主導的社會秩序，因為官吏制度的基本觀念不僅與貴族封建制度的世襲原則相對立，而且也與富商的價值體系相對立。」[30] 相反，歐洲「貴族式的封建主義」促進了城邦商業行會 guilds 的興起，有利於資本主義。

2.5 李約瑟論點的評價和更恰當的解說

李約瑟對中國傳統社會的論述不無道理，儘管如此，他藉此以解釋為甚麼中國現代科學沒有崛起，卻是十分牽強。李約瑟犯的錯誤是沒有清楚區分科學與技術，兩者其實不能混為一談。他描述了許多前現代中國的成就，事實上它們大部分是技術發明，不是科學創新。他的論述若然不是用來解說中國科學的弱點，而是說明現代工業在中國較遲出現的原因，則可能有點道理。

若果我們同時觀察對立的一面：中世紀以後歐洲科學的崛起，這個論點就變得清晰。科學概念上的突破是來自科學革命，重要人物如培根 Bacon、笛卡兒 Descartes，他們對科學方法作出了貢獻。至於哥白尼 Copernicus、伽利略 Galileo、開普勒 Kepler、牛頓 Newton 等人則對科學上作出了突破。李約瑟所提到的商業行會的秩序和生產性的工業，它們與上述這些科學巨人的工作說不上任何密切關係。這個年代的大科學家，與商業行會或生產性工業的關係不大，而他們的工作確實將歐洲帶入現代科學的紀元。

要檢視現代科學在歐洲冒起的原因，工程巨大艱辛，而且答案並非明確和唯一的。其中一個近代的講法，可參考陳方正《繼承與叛逆：現代科學為何出現於西方》的導論 (頁4−34)。[31] 此書以西方科學為題，但作者心中關注的還是中國科技發展。當討論現代科學在歐洲冒起的情況，我們肯定要留意希臘哲學的根基 (透過阿拉伯文明的傳承和發揚)，包括：柏拉圖 Plato 的理想世界、亞里士多德 Aristotle 的邏輯、畢達哥拉斯 (畢氏) Pythagoras 和歐幾里得 Euclid 的數學，以及歐洲文化裡人們對自然界抱有好奇心和尋根究柢的習性。顯然地，當提到開普勒 Kepler 的橢圓軌跡和牛頓 Newton 的質點，必得承認這些概念是屬於柏拉圖的抽象理念世界，與任何社會和經濟秩序扯不上絲毫關係。

其實，任鴻雋早已關注科學精神。我們在思考歐洲科學發展的分水嶺，即是科學革命造成的現代歐洲文明的產生，以及尋找現代科學沒有在中國出現的原因時，必須考慮上述一系列的因素。

---

[29] 李約瑟：《文明的滴定》，頁 179−180。

[30] 李約瑟：《文明的滴定》，頁 183。

[31] 作者陳方正博士是中大通識課程「中國科學與技術」(三學分) 其中一位重要策劃者及講者，此文大部分的內容是取自這個課程。

儘管如此，若果將李約瑟論點作出些微修改，或者對現今世代帶來一些的啟示。資本主義或商業社會是分散和多元的，各人朝不同方向發展，在智性上進步，其中一些人可能會有所突破和成功。相反，官僚社會往往十分單一專注，做事按照固定的流程。在現今，不應忘記這句話：過於重視大項目和潮流大趨勢反而使真正的創新邊緣化。

第三章　兩彈一星

中華人民共和國成立的首三十年，社會面臨不少問題和挑戰。儘管如此，在科技領域上仍有可觀的成就。以下介紹其中幾項，首先是「兩彈一星」，[32] 這是國家整體科技策略下的兩個分支。

3.1 核武器

下表列出世界五強 (聯合國安理會常任理事國) [33] 首次成功試驗核分裂和核融合武器的年份：[34]

國家	核分裂	核融合
美國	1945	1952
蘇聯	1949	1953
英國	1952	1957
法國	1960	1968
中國	1964	1967

圖表 3.1：各國核武裝置首次成功試驗的年份

在 1950 至 1960 年代，中國面臨很多問題，為何仍要調配資源，發展核武？當時經濟上「一窮二白」，[35] 科技人才匱乏，中國如何克服困難，研製出核武器？我們審視這個歷史故事，可以窺見 (某些) 科技領域上成功的要素。相關的參考書有 1991 年劉易斯和薛理泰所著《中國製造核武器》*China Builds the Bomb* (Lewis and Xue, 1991)。

二次大戰期間，朝鮮被日本佔據。二戰結束後，又分別被蘇聯和美國佔領。南北朝鮮在1950年爆發內戰，美國派軍支援南韓，向北推進，矛頭一度直指中朝邊境。當時，中華人民共和國成立短短一年，志願軍渡過鴨綠江，與北韓軍隊並肩作戰，與裝備優勝的美軍交戰，逼使美軍退至三八線，雙方僵持不下。在1953年，雙方簽署停火協議。中國擔憂外敵入侵，[36] 還擔憂美國在戰場使用核武。當時，美軍司令聲稱會使用核武，如非美國總統果斷撤換戰區指揮官，後果堪虞。因此，中國領導層迅速達成

[32] 「兩彈」本來指核彈加上導彈 (核彈包括：核分裂造成的原子彈 A-bomb 和核融合造成的氫彈 H-bomb)。但這個說法到後來有所變化，現在「兩彈」指原子彈加上氫彈，而導彈與衛星合稱為「一星」，這與英語的說法一致。

[33] 當時，台灣國民黨政府以中華民國名義擔任聯合國安理會常任理事。蘇聯當然現在不再存在。英國科學家參與了曼哈頓計劃；1952 年獨自核試成功。

[34] 原子彈 A-bomb，通過分裂重核 (如鈾) 來運作；氫彈 H-bomb 或熱核彈，通過融合輕核 (如氫) 來運作。後者的威力遠比前者大。

[35] 1960年，中國人均國內生產總值為90美元，而美國為3000美元 (World Bank, 2021a)。

[36] 中國的擔憂不無道理，在 1950 年前的 110 年當中 (從鴉片戰爭算起)，中國領土鮮有一個年份沒有被外國軍隊侵占。

共識：為保障國家安全，中國必須製造核武，以達阻嚇作用。於是，中國在1955年決定啟動原子彈研製項目，並列為優先的任務。

姓名	出生年份	學歷	導師
王淦昌	1907	博士 柏林 1934	Meitner
郭永懷	1909	博士 加州理工 1943	von Karman
錢三強	1913	博士 巴黎 1940	Irene Joliot-Curie
彭桓武	1915	博士 愛丁堡 1945	Born
程開甲	1918	博士 愛丁堡 1948	Born
鄧稼先	1924	博士 普渡 1950	Belinfante
朱光亞	1924	博士 密西根 1949	Wiedenbeck
于敏	1926	理學士 北大 1949	張宗遂
周光召	1929	理學士 北大 1951	彭桓武

圖表3.2：核武器計劃的主要領袖

圖表3.2列出核武器項目中舉足輕重的主要科學家 (大部分都是物理學家)，從他們的事蹟可窺見不同年代的科學發展。[37] 首批海外回國的大學生 (上表無列出)，他們分別在北大、清華、浙大和後期在西南聯大，成立了優秀的學系，上表其中幾位科學家便是在這些大學修讀本科課程，接受優質的教育。除了名單中最年輕兩位，其餘都在外國修畢研究院課程，均為頂尖科學家的入室弟子。[38] 最年輕的兩位是在國內受訓：于敏在北大讀本科，並在清華修讀研究院，師從張宗遂，及後受聘於中科院，導師是彭桓武。周光召同樣在北大修讀本科，研究生時師從彭桓武，後來到蘇聯的杜布納 Dubna 研究所參與研究。[39] 另外，郭永懷是位物理學家但並非核專門，他的專長是力學 (他的主要貢獻是分析和標述爆炸的情況)，他的導師馮卡門 von Karman 無疑是當時氣動力學首屈一指的權威。

儘管上述的科學家成就斐然，對國防科技貢獻重大，但必須承認的是，這些兩彈元勛比起參與曼哈頓計劃 Manhattan Project 中的科學家，例如 Oppenheimer、Bethe、Fermi、Lawrence、Bohr、Peierls、甚至當時初出茅廬的費曼 Feynman，[40] 就一生科學成就而言，實在還有一段距離。由此而論，「跟跑」式的核武研究，雖然要求不低，成就不易，但與真正的原創性科學比較，層次有別。公眾通常並不理解這一點。

[37] 「兩彈一星元勛」共 23 人；圖表 3.2 只列出「兩彈」的主要人物。

[38] Meitner 和 Frisch 是最早明白核分裂的物理學家。Irene Joliot-Curie 是居禮夫人的女兒，本人亦曾獲諾貝爾獎。Born 是量子物理的鼻祖之一，亦曾獲諾貝爾獎 (同時是我的師祖，即是我博士論文導師的導師的導師)。Belinfante 在物理學界外，並不是廣為人知，但電磁學的能量動量張量，以他為名。Wiedenbeck 著有頗具影響的實驗科學教材。

[39] 周光召多年後成為了中科院院長，退休後曾擔任全國人大副委員長。

[40] 本人有幸認識美國和中國核武器計劃的科學家團隊中最年輕的兩位：費曼 Feynman 是我的老師 (Feynman, 2005, p 252)；周光召曾多次到訪中大，並在1991年獲中大頒授榮譽博士學位。我與 Peierls 在科學領域上曾有交往 (Peierls, 1991, p 40)。

美國指控蘇聯竊取了核武器的軍事秘密，[41] 但從未對中國作出類似的指控，畢竟沒有任何中國科學家靠近曼哈頓計劃。事實上，在70年代，鄧稼先曾私下與楊振寧 (自兒時的好友) 確認中國的原子彈設計和製造並無依靠外國援助，[42] 楊振寧聞之不禁落淚，故事在楊振寧百歲壽辰時他親口講述。同時，值得留意的是，來華援助的蘇聯專家已在1960年全面撤走。在氫彈方面更無懸念，于敏提出的設計方案，與外國的有明顯分別。

然而，別以為核武器是由物理學家獨力完成。原子彈工程浩大，必須集結全國多方的力量，例如：地質學家探勘和開採鈾礦；[43] 化學家撮取鈾元素中罕有的鈾235，以氣體擴散的方法提取後再組建成原子彈。以上的工序相當困難，而且中國當時的技術水平有限、經濟疲乏。原子彈的研製動用不少的資源，國家必須在其他方面節省開支。原子彈計劃之所以成功，有賴全國對保衛國土上下一心，共產黨在這方面尤為堅決。全盤計劃由國務院領導，跨越多個實驗室，並由國防系統協調，聶榮臻元帥為總指揮。[44] 1964年，中國成功進行原子彈核試，全國為此歡騰，三年後氫彈亦研製成功。[45]

3.2 火箭與衛星

核武器多與衛星相提並論，合稱「兩彈一星」，其實「一星」是包括火箭與導彈，後來更衍生了太空計劃和遠程導彈工程。雖然不乏出色的科學家參與火箭與導彈計劃，不少更列入「兩彈一星元勛」，但其中一位最為突出——錢學森，他既領導科研，更組建了整個科學團隊。

錢學森 (1911−2009) 在上海交通大學接受本科教育，及後獲庚子賠款獎學金，到美國修讀研究院，先赴麻省理工 MIT，再到加州理工 Caltech。1939年，他獲頒加州理工的博士學位，導師是世界首屈一指的氣體動力學專家馮卡門 von Karman，馮卡門是當時新興的火箭科學的鼻祖。錢學森是他的得意門生。二戰結束後，錢學森獲美國委任為陸軍上校，[46] 被遣派到德國，評估當地的火箭科技及招募德國科學家。後來，他短暫回國成婚，再重返美國繼續工作，先到麻省理工停留一段短時間，至1949年獲加州理工授予冠名教席。[47]

然而，時局瞬變。中國內戰結束後，社會初趨穩定，錢學森考慮回國省親，而且，他自然有興趣了解中國共產主義社會的情況，也因此參與過一些美國左翼群組的集會。到了1950年，中美在朝鮮半島開戰，美國的麥卡錫主義 McCarthyism 抬頭，造成恐共情緒，甚至連曼哈頓計劃的主腦人物 Oppenheimer 也受情報部門懷疑，他在美國的安全許可因而被撤銷。同樣，錢學森受質詢，但他的立場十分清晰：他並非共產黨員，亦對美國社會甚有好感；在這些質疑冒出之前，他在美國備受尊重；儘管如此，他有

[41] Rosenberg 夫婦被指控擔任間諜，結果被處死。
[42] 當時的謠言指美國物理學家寒春 Joan Hinton 參與其中，她確實住在中國，但在牧牛場工作。
[43] 這些範疇是由地質學家李四光負責帶領。
[44] 聶榮臻與指揮曼哈頓計劃的格羅夫斯將軍 Groves 常被相提並論。格羅夫斯屬三星級；聶榮臻為開國元帥，相當於五星級。
[45] 因此，中國是第五個擁有原子彈的國家，但在氫彈方面則超過法國，排列第四。
[46] 他並非美國公民，亦非永久居民。
[47] 冠名教席在當時十分罕見。即使在 1960 年代，加州理工的物理學教授中也只有兩位諾貝爾獎得主獲授冠名教席。

更強的家國情懷。他本來只是考慮回國省親短訪，但領教了美國聯邦調查局的態度和手段，令他改變主意。美國政府一方面將他驅逐出境 (無須經法庭審判)，但同時又限制他離開洛杉磯。最終他在1955年獲准離境，[48] 乘坐郵輪由洛杉磯到香港，再經羅湖返回內地。[49] 錢學森的事蹟在中國廣為人知，一本著名的英文書——張純如《中國飛彈之父——錢學森之謎》*The Thread of the Silkworm* (Chang, 1995) 就是記錄他的經歷。[50]

回國後，錢學森建議成立國防航空工業，他的倡議最後成為這方面的發展藍圖。1957年，他被委任為隸屬國防部的五院副院長。[51]

中國國防航空工業的里程碑包括：在1960年成功發射短程導彈；1966年發射帶核彈彈頭的導彈；1970年研製出首個人造衛星東方紅。至於蘇美的進度：1957年蘇聯首先發射人造衛星史普尼克 Sputnik 1號；一年後美國發射先鋒 Vanguard 1號。可見，中國滯後約十年。中國的載人航天工程直至2003年才成功探空，比起蘇聯的加加林 Gagarin 和美國的舒柏 Sheppard 在1961年升空遲了40年之多。

「兩彈一星」工程在中國被視為國家級的重大成就，參與工程的英雄獲頒授勳章。這確實證明中國科技急速進步，中國科學家成功複製了少數其他國家不久前已有的成就，考慮到起步的劣勢，成就不容忽視。但用今天的術語，六十年代的「兩彈一星」屬於「跟跑」，還未到「並跑」，更遑論「領跑」，這還是必得承認的事實。

[48] 可能交換了朝鮮戰爭中被擊落的美國飛行員戰俘。

[49] 所以他火車途中一定路過中大校園，雖然當時 (1955 年) 只有崇基在這個校址。

[50] 作者張純如後來因著寫二戰期間的南京大屠殺歷史而聞名，但亦因此陷入抑鬱，最終自殺。

[51] 院長是行政人員，錢學森負責所有科研工作。

第四章　激光、胰島素、瘧疾療法

4.1 激光

現今，激光器是十分平凡的工具。[52] 老師授課時皆用激光筆，在螢幕上標指內容。激光的運作原理是將光波的個別單元 (即光子) 組織起來，讓它們齊步傳遞和作用。而受激發射的原理 (LASER 中的 S 代表受激 stimulated；E 代表發射 emission) 最早由愛因斯坦於 1917 年提出。在 1960 年梅曼 Maiman 製成紅寶石激光器，首次在可見光波段實現愛因斯坦的構想。現在普遍稱梅曼為「激光之父」。

中國的第一台激光器是由王大珩 (1915–2011) 領導的長春光機所研發，比梅曼的發明僅僅遲一年。王大珩本科清華畢業，及後獲庚子賠款獎學金到英國留學，他於1941年在倫敦大學帝國學院取得碩士學位，再到謝菲爾德 Sheffield 大學攻讀博士。根據他本人的述錄，他修讀博士期間毅然放棄學業，投身光學玻璃製作的實驗室，學習實用性的工業技術。因為他深信，當時中國的科技發展最需要實用工業技術，而非純粹書本上的理論知識。他至1948年回國，已對古典光學 (光學中毋須理會個別光子行為的分支) 和製作光學玻璃、透鏡和光學塗層等範疇有穩固的掌握。1952年，他成立長春光機所，隸屬於中科院，並在短時間內建立優秀的團隊和設備。

他的弟子王之江製作出中國首支激光器 (紅寶石激光器)，距離梅曼的發明僅僅遲一年。雖然王之江的設計很大程度是根據梅曼，不過仍有部分加入了王之江個人的設計。中國能夠在短時間內跟上世界前衛的發展實在不容易，可見長春光機所已經充分裝備好，蓄勢待發。跟著，一系列不同類型的激光器相繼面世：1963 年的氦氖激光器、釹玻璃激光器和砷化鎵半導體激光器；1964 年的氬離子激光器；1965 年的二氧化碳激光器；1966 年的 YAG (釔鋁石榴石) 激光器。就上述各種激光器而言，中國均非世界第一，但當時中國的光學水平已足夠追趕世界大勢，緊貼世界最先進發展。

4.2 胰島素

如前文所述，中國高水平的基礎科學成就屈指可數，然而，有一項工作被公認為先進，接近問鼎諾貝爾獎的水平 (Cao, 2004)。

胰島素由胰臟產生，若人體欠缺胰島素便引發糖尿病，這一點早在20世紀初已為人知悉。直至約1920年，科學家已從動物 (先是狗，及後是牛) 的胰臟提取胰島素，再注入病人體內，控制糖尿病。1923年，在這方面作出重要貢獻的加拿大科學家獲得諾貝爾生理學或醫學獎。[53] 從動物的胰臟提取胰島素相當困難，且效率很低。胰島素只不過是一個大分子 (分子量約 6000)，因而中國科學家產生了念頭，嘗試人工合成胰島素，並在1965年成功。這是龐大的項目，牽涉三個合作單位：上海生物化學研究所、

[52] 「LASER」是 Light Amplification for Stimulated Emission of Radiation 的首字母縮略詞；用多了以後，成為了一個獨立的單字 laser，現在通常被翻譯為「激光」。在香港，亦被翻譯為「鐳射」，但限於非科技媒體。

[53] 發明者放棄了個人利益，此等無私的行為在西方絕無僅有，但在當時社會主義特色的中國卻是十分普遍的，從以下故事可見。

北大、上海有機化學研究所。當初沒有人考慮名利，個人如是，單位亦如是。當時社會上崇尚集體精神，反對追逐個人名利。

1966年，文化大革命爆發，中國與外界的聯繫幾乎斷絕。因此，當時國外甚少人知道中國胰島素人工合成的突破。數年後，國家領導人才明白這項突破值得世人注意。1977年，中科院正式提出要表揚胰島素人工合成的成就，考慮提名諾貝爾獎。這項涉外舉措還須驚動國家領導，據說最後由鄧小平拍板，才克服了社會一直崇尚集體、不鼓勵宣揚個人成就的態度。[54] 除此之外，仍面臨另一項障礙：諾貝爾獎評選最多提名三人，而胰島素項目至少有四位主腦。國家最終決定只提名鈕經義一人，是由於歐洲的科學家 (見下文) 在此方面亦有所貢獻，可能會平分獎項。遺憾地，中國科學家最終沒有獲獎，但不能否認，該項工作水平領先世界，若然獲獎亦屬實至名歸。

中國團隊落選有數個原因：早期對於提名與否猶豫不決，還有文革時期欠缺國際聯繫和曝光，令中國科學家鮮有在國際科學界「推銷」胰島素方面的成就。再者，中國對撰寫提名文件欠缺經驗。還有以下一個時常被忽略的原因。[55] 事實上，最先合成胰島素的不是中國科學團隊 (此事經常被誤會)，但中國最先合成具有良好生理活性的胰島素分子。有關歐洲科學家早期的工作評述可參考 Katsoyannis (1966)。[56] 生理活性取決於不同的合成路線，合成路線的不同則影響 (三維) 空間結構 (亦影響合成物的純度)，[57] 因而不同團隊的合成品的生理活性均有差異。在當時 (1960年代)，科學家對分子空間結構認識不多，合成品的三維結構難以預言，有運氣的成分。然而，中國科學團隊花了不少工夫，耐心地嘗試大量不同方案，成功不可謂偶然。以上可能是歐洲和中國的科學家皆沒有獲得諾貝爾獎的其中一個原因。

我們看看參與這個項目的數位領軍人物，從中可得知科學的發展進程。他們大部分在海外接受教育，回國後帶領國家科研的重點項目，同時交棒給在國內受訓的新一代科學家，由此亦可見不同學術單位的合作和協調。胰島素合成項目的公認領隊王應睞 (1907–2001)，於1941在劍橋大學 Cambridge University 取得博士學位，及後在上海生化所工作。同樣在生化所工作的有鈕經義 (1920–1995) 和鄒承魯 (1923–2006)，前者於1953年德州大學奧斯汀分校 University of Texas at Austin 博士畢業，後者於1951年劍橋大學博士畢業，兩人皆曾在國立西南聯合大學修讀化學本科，兩人都比王應睞年輕。至於上海有機所的領隊汪猷 (1910–1997)，於1937年在慕尼黑大學 University of Munich 博士畢業。最年輕的季愛雪 (1933–1993) 則在北大讀書和工作。在五位之中，王應睞謙讓被提名競逐諾貝爾獎的機會，自稱只是項目的行政領導。而在三個單位中，北大和有機所讓給生化所，生化所最終提名鈕經義。

歐洲的胰島素研究團隊規模不大，但在中國，胰島素項目規模頗大，被視為國家重點項目，為何？首先，中國科學家需要自行研製其中一些試劑，無法向外購買。其次，中國的科學家研究團隊龐大，有條件耐心嘗試不同方案，以追求優化的配方，這體現了集體系統的優勢。

[54] 1977至1978年是改革開放政策的關鍵轉捩點。在那個分水嶺之前，海外關係是可以捱批的。

[55] 謝作偉教授向我解釋其中的細節，特此鳴謝，但文中表達的全屬我個人意見。

[56] 此外，歐洲產品以綿羊胰島素為基礎，而中國產品以牛胰島素為基礎；然而，這種區別純粹是偶然的，並不重要。

[57] 現在幾乎每個人都知道SARS-CoV-2病毒的刺突對其特性至關重要。

4.3 瘧疾療法

屠呦呦 (1930年生) 於2015年獲頒諾貝爾生理學或醫學獎，表彰她在1970年代發現瘧疾的新療法。

這項發現其實與古代的中醫藥治療相關。屠呦呦一直在國內接受教育 (北京醫科大學，現屬北大)，她的研究工作亦在國內進行 (中醫科學院中藥研究所)。

瘧疾是一種熱帶地區常見的傳染病。長久以來，首選的治療藥物是奎寧和它的衍生物，但其有效性不高，大劑量使用更會誘發副作用。約1967年，北越因此向中國尋求瘧疾治療援助。[58] 在中國，文化大革命對教研機構造成巨大破壞，但由國家領導的項目則大致不受影響。加上，從傳統中藥尋求療法，正好與當時崇尚勞動人民智慧，提倡「土」方法的價值觀契合。

於是，科學家搜查成千上萬的化學物品 (以天然藥物為主)，利用祖先的智慧，特別留意傳統中草藥綱目中提及治療類似病徵的藥物，嘗試了大量不同的配方，從草藥中提取化學物，再用老鼠試驗。過程中發現蒿 wormwood 似乎有效，但當時未能成功提取有效成分。在此，屠呦呦作出重要貢獻：她發現古籍中提到「青蒿素一握，以水二升漬，絞取汁，盡服之」[59]，因而猜想高溫會破壞有效成分，所以她嘗試以低溫提取，最終成功獲得青蒿素。青蒿素 (西方學名 artemisinin) 和其衍生品是現今治療瘧疾的主要藥物。屠呦呦的團隊更測定青蒿素的化學結構，而屠呦呦本人是藥物安全測試的首位志願者。

2015年的諾貝爾獎充分表彰這項發明，同時也是對中藥現代化的高度評價。獎項也是對中國本土的研究成果給予肯定，亦是對女性科學家的一種鼓舞。奇怪的是，屠呦呦一直沒有入選中科院院士，當中的因由至今仍未弄清。有指屠呦呦超出了競選院士的年齡上限，說法較為牽強，事實上她在發現青蒿素時僅40餘歲。說不定屠呦呦性格倔強，與人磨擦時有發生。另一說法是青蒿素屬集體成果，因為這是一個從上而下的國家項目，由多部門分工合作，研究不同的草藥，屠呦呦團體被指派研究蒿純屬恰巧。此說法雖有合理之處，但必須承認屠呦呦的獨特貢獻，若然沒有她提出冷凍提取方法，青蒿素可能無法面世。儘管屠呦呦最終沒有入選中科院院士，[60] 但她獲國家頒發最高榮譽的獎項，包括2016年國家最高科學技術獎和2019年的共和國勳章，後者更為稀罕。[61] 近年，有人提出青蒿素或可治療新冠肺炎 (Fuzimoto, 2021)。

[58] 當時北越正與美軍交戰，軍隊長期在滿佈蚊蟲的森林中作戰。
[59] [東晉] 葛洪《肘後備急方》(北京：商務印書局，1995 年)，頁 57。
[60] 中科院院士選舉雖然在多方面惹人詬病，但無論如何仍是一個真正民主的選舉過程，國家無法操控選舉結果。
[61] 歷年來最高科學技術獎得獎者少於 20 人；共和國獎章得獎者只有 9 人，包括：研發核彈的于敏、雜交水稻的袁隆平和在非典型肺炎和新冠肺炎中作出貢獻的鍾南山。

第五章　近年的科技進步

5.1 改革與開放的年代

政治面貌的分水嶺

中國自 1976 年起，在鄧小平的領導下進入改革開放的年代，政治面貌有了重大的改變，中國的科學與技術乃至整個社會踏入高速發展的時期。

1978 年 8 月第十一屆三中全會中宣佈重要的新政策，是建國以來首次將現代化 (而非革命和階級鬥爭) 置於國家發展議程的前位 (中國共產黨中央委員會會議，1978 年，第一部)。[62] 國家政策的重點在於經濟發展和技術創新，同時提出四個現代化 (依次：農業、工業、國防和科技)。[63] 三中全會確立「實踐是檢驗真理的唯一標準」的原則 (中國共產黨中央委員會會議，1978 年，第四部)，全面否定了華國鋒年代所言的「兩個凡是」——盲目地追隨毛澤東所提出的一切，這點對我們的討論尤其重要。

不要以為認知論是單純的哲學性問題，其實是有重大的後果。從某種意義上來說，中國正經歷歐洲當年進入現代化的同樣思想革命，只是中國遲了幾百年發生，過程也壓縮在很短的時間內完成。歐洲在中世紀凡事以「聖經說的就是真理」為標準，阻礙和迫害了有志從事科學的人。伽利略在 1615 年前後被教廷審查，算是最後一位受這種迫害的著名科學家。唯有歐洲放棄了這種「凡事」，才有現代科學的崛起，於是產生了諸如培根的實證主義 (約 1620 年)、笛卡兒的理性主義 (約 1640 年)，和啟蒙運動；康德是啟蒙運動的標桿人物，他有這樣的名言：「要勇於認知！要有勇氣運用你自己的理智！」(約 1784 年) 。

政治面貌的轉向在至少三方面對科學造成影響：(1) 科學家即時感到思想解放，喚起了奮鬥的目標。(2) 重建學術機構的漫長工作正式啟動。(3) 經濟的發展驅動教育和科技的進步，造成良性循環。

重建科技機構

在文化大革命中，許多大學受嚴重摧毀。不少教授被羞辱、甚至受迫害，學者和學生被下放到農村，接受再教育。在文化大革命的最後幾年，學者們陸續返回院校和研究單位，在鄧小平上台後糾正了過去的政策，教研單位終於得以恢復。尤為重要的是，當時重新建立遴選大學生的考試制度 (現在的高考)。在文化大革命的年代，遴選大學生很大程度是依賴農村、工廠和單位的推薦，強調學生的政治面貌和出身。新制度下的首次高考在1977年末進行，對當時優秀的年輕人來說是很大鼓舞。首幾批考生的水平尤其高，因為過去十年內未能參考的學生一起競爭，角逐少量的入學名額。[64] 然而，在往後的十至十五年，科研的經費、設備不足，與外界的往來亦有限。

---

[62] 〈中國共產黨第十一屆中央委員會第三次全體會議公報〉: http://cpc.people.com.cn/GB/64162/64168/64563/65371/4441902.html (2022 年 7 月 7 日瀏覽)。

[63] 「四個現代化」此術語實際上在1960年代初就已使用，但直到1978年才成為一個重要的口號。

[64] 因此，這幾批學生的年齡差異相當大。他們不僅學業成績優秀，而且有堅強韌力，經常在困難的情況下獨自學習。

科學的春天

在1978年3月，全國科學大會結幕上，當時的中科院院長郭沫若發表講話〈科學的春天〉，[65] 表達科學家們的心聲和期盼：

> 我們中華民族在人類文明發展史上，曾經有過傑出的貢獻。[……] [今天]我們不僅要有政治上、文化上的巨人，我們同樣需要有自然科學和其他方面的巨人。[66]

5.2 經濟發展及其他指標

經濟發展

實施改革開放政策後，國家經濟進入高速增長的年代，發展的速率是環顧全球史無前例的 (個別細小區域或短時期除外)。下表 5.1 比較中國與美國的 GDP (與其他發達經濟體的比較大致相同)，情況一目了然：美國的經濟在 40 年間增長了 7 倍，中國則增長了 70 倍！而且，目前中美經濟總量約 2 比 3 的差距正迅速地收窄，一般認為，中國的 GDP 將在十年內超越美國 (若按購買力平價計算，則或已超越美國)，但以人均國民收入來說，仍存有相當差距。

	中國	美國
1980 年 GDP (萬億美元)	0.2	2.9
2020 年 GDP (萬億美元)	14.7	20.9
40 年間的倍數	70	7

圖表5.1：1980 和 2020 年中美的 GDP。單位：萬億美元。
數據來自 World Bank (2021a)

經濟急促發展經歷了幾個不同的但互相重疊的階段。首先，陸續廢除農業集體制，引入承包，容許小規模私營產業，生產動力即時得到釋放。接著，利用大量的廉價勞工，低端工業急促起飛。其後，開始發展技術含量更高的產業，初時由境外伙伴引入資金和技術，但隨後本地的工業得到全面的發展，中國因而被稱為「世界工廠」，這個名詞本來用來形容19世紀的英國 (Hudson, 2011)。還有，自主的知識產權推動新產品的發展，令經濟愈來愈受創新來驅動。技術 (即使不談科學) 顯然地在後期扮演重要的角色，科學和創新是提升價值鏈和避免中收入陷阱的必要因素 (ADB, 2017)。

---

[65] 郭沫若更為人所知的是一位文人，只能勉強稱為一位科學家：他是作家、歷史學家、考古學家，研究古文獻的工作與考古科學接壤。他的名聲好壞參半，在毛澤東時代頗欠風骨。儘管如此，科學界仍對這次演講給予高度評價。.

[66] 郭沫若：〈科學的春天〉，
https://baike.baidu.hk/item/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E7%9A%84%E6%98%A5%E5%A4%A9/15420075
(2022 年 6 月 28 日瀏覽)。

電動車工業的故事，尤其是轎車，是個很好的例子，說明了上述過程的各個階段。在 1980 年代初，中國汽車廠屈指可數，而且設備相當陳舊。除國產汽車外，還有蘇聯入口，但質量普遍不佳。後來，一些合資企業誕生，例如與美國汽車公司 American Motor Corporation 合資在北京設廠、與大眾汽車 VW 在上海設廠、與標緻汽車 Peugeot 在廣州設廠，更引入豐田 Toyota 和日產 Nissan 等品牌。然而，這些中外合資計劃中，外方伙伴一般牢握技術和工藝竅門不放，合資企業只能擔當組裝的角色。當時亦出現不少國產品牌，但都不大成功。隨著經濟增長，人們對汽車的需求也隨之增加，儘管關稅高昂，仍進口了大量轎車。近年，本地企業利用電動車 EV 的顛覆性技術，更配合減少碳排放的潮流和國策，脫穎而出。[67] 2021 年，上汽 (上海汽車集團股份有限公司) SAIC 和比亞迪 BYD 在充電式混能車方面分別排名全球第三和第四，[68] 緊隨特斯拉 Tesla 和大眾 (INSIDEEVS, 2021a)。其中，比亞迪尤其受人注目，它成功結合人工智能和新式的電池設計，市場傳言特斯拉將購買比亞迪的電池 (INSIDEEVS, 2021b)。

經濟與科技的發展在其他重要方面互相影響，儘管成果未必即時可見。現時社會已有足夠的財富投資於科學研究和技術發展，因此，社會進入一個經濟增長和技術進步的良性循環，兩者互相推動前進。長遠來看，隨著社會愈來愈富裕，不論在社會或個人，將出現生活價值取向的轉變，漸漸不須再將精力放在即時的效用和短期的回報 (中國幾千年歷史上，到了這一代才不須為溫飽操心)，人們的追求可以轉向純粹出於對自然的好奇，長遠來說肯定有利於基礎科學的發展，這一點於下節論述。

科學產量

隨著經濟體系的增長，科學產量的量化指標急速上升，就總量來說，中國在很多指標在全世界排名首位或次位。現時中國在科學與技術的學術期刊所發表的文章總量排名世界第一，已是超越美國百分之二十，拋離印度、德國、日本、英國和俄羅斯至少四倍 (World Bank, 2021b)。在申請專利方面，數字更令人注目：中國排第一，比美國和日本均多約四倍，隨後的韓國、德國、俄羅斯和印度的數目微不足道 (World Bank, 2021c)。

這些數字一方面令人鼓舞，另一方面，卻須小心解讀。首先，按人均計算，得出的結果並非那麼了不起。其次，中國科技圈子有過度強調表面指標的文化 (當中的原因另作討論)，科學家發表文章或尋求專利時，不一定很關心內容是否真正有價值，只求滿足量化指標。[69] 從以上的觀察可窺見來年將面對的兩個挑戰：(1) 要強調質素而非只數量。(2) 對科學工作的評審要從官僚體系轉到獨立的同行評審體制。(官僚只懂硬指標，亦易受媒體吹捧影響。)

[67] 關於減少二氧化碳排放的宣傳應該小心解讀，免受誤導。確實，電動汽車本身不會排放二氧化碳，但產生電能的發電廠會排放。如果發電廠是燃煤的，甚至可能排放更多的溫室氣體。
[68] 不限於轎車。
[69] 若然你的學期論文的評分標準是字數的多寡，毫無疑問，即使言之無物，你仍然會寫很長篇幅。

5.3 近年在科學和技術上的成就

上述顯示的只是籠統數據，我們應提出具體的例子以作補充。在某些領域，例如電子支付和高鐵，中國公認是世界領先。要注意，並非其他國家一定做不到，可能它們只是沒在這些方面花費精力，或者礙於技術範疇以外的原因。至於 5G 通信技術的實施，華為肯定是世界領先，以至有人不擇手段，攻擊和試圖摧毀華為。[70] 在人工智能 AI 方面，中國也被公認是領先的 (Marr, 2021; Li, Tong & Xiao, 2021)。從中大工學院誕生的人工智能公司商湯 SenseTime，於2021年12月下旬在香港上市，計劃卻遭受破壞。[71]

中國在航天探索屢創佳績，成就廣受關注。最重要的 (雖然不是最觸目的) 是北斗導航系統 (三代導航衛星分別於2000、2011、2015年發射)，在美、歐、俄導航系統以外，提供了自主的選擇。中國嫦娥系列探月工程見圖表5.2。

編號	年份	
1	2007	繞月運行
2	2010	繞月運行
3	2013	登陸月球
4	2018	登陸月球背面
4	2020	帶1.7公斤樣本返回地球

圖表5.2：嫦娥系列的中國探月工程

中國太空人於 2003 年首次探空 (太空人楊利偉於 2004 年獲中大頒授榮譽博士)。[72] 幾次探空任務後，中國太空人在太空站 (天宮) 停留了幾個月。[73] 至於火星探測器則於 2020 年發射，登陸火星探索其表面。

另一方面，一艘無人深水潛艇在 2020 年面世，潛航深度可達萬米，幾乎等於海洋的最大深度，與其他國家的紀錄一致。儘管有些國家更有載人的深水潛艇，但載人潛艇的科學優勢並不顯著。

在民航方面，支綫飛機 ARJ21 (少於 100 座位，航程約 3000 公里，中國設計，使用通用電氣 General Electric 引擎) 已在國內投入服務。較大的 C919 (約 150 個座位，航程可達 3000 公里，中國設計，使用來自美法財團的 LEAP 引擎) 將成為空客 A320 和波音 B737 的競爭對手，令 ABC 三駒並馳。[74] 還有，最大型號的 C929 (約 300 座位，航程可達 12,000 公里，採用勞斯萊斯 Rolls Royce 和通用電氣發動機) 正處於設計和試驗

[70] 然而，華為宣布 2021 年利潤增長 76%。

[71] 美國投資者被禁止入股，包括投資基金。最終，這突如其來的禁令只是導致上市首次公開募股 IPO 短暫延遲。諷刺的是，禁令被視為對技術優勢的肯定，以致 IPO 一周後股價急升約 40%。

[72] 至少有兩位沖昏了腦袋的億萬富豪 (Bezos 和 Branson) 以私營企業的身份策劃了太空航班。因此，人們可能會認為太空飛行不再是那麼了不起的事情。然而，這些所謂的「飛行」只不過是將太空船升空，讓乘客在火箭關閉時體驗幾分鐘的失重狀態。太空船沒有圍繞地球運行。

[73] 在 2021 年 12 月撰寫本文時，三名航天員在天宮二號，預計停留六個月後返回地球。在 2022 年 6 月編寫中文版時，航天員團隊已作更替。現時在天宮二號的女航天員劉洋曾訪問中大，並作科普演講。

[74] ABC 指空客 Airbus、波音 Boeing 和中國商飛 (中國商用飛機有限責任公司 Comac)。

階段，預計在十年內投入使用，與空客 A330 和波音 B787 在同一領域競爭。必須承認許多關鍵的部件仍依賴外國供應商，即使是空客和波音也向外購買設備。

在全球減少使用化石燃料之際，中國主導了全世界的太陽能板 PV 生產 (Buchholz, 2021)。中國風力發電設施是全球最多，超過 350 GW (Unwin & Farmer, 2021)，比位居第二位的美國多一倍。[75] 2020 年中國風力發電設施佔全球一半 (Ambrose, 2021)。核電設備排名世界第三，緊隨美國和法國 (Kumar, 2021)，核能的故事說明了中國科技發展所經歷的階段。首個近代的核電廠是大亞灣核電廠 (1987年建造，1994年投產)，香港的部分電力供應便來自大亞灣。早期的核電廠是由法國製造的反應堆，[76] 但當時不僅是技術跟不上，外匯亦短缺，因此引進香港中電 CLP 為合作伙伴，中電承諾購買七成的電力，同時引入管理經驗。後來，一些裝備 (如 CPR-1000 型號) 是購買法國的核心技術，配上國產的周邊設施。接下來是發展自主技術 (如 ACP-1000 型號)，因此可以外銷。目前，主要的研發方向是新型的反應堆，目標是設計出較小型、效率更高、具有本質安全性的反應堆。[77]

中國數十年的科技成就卓越，在此未能盡列，但以上的例子足夠描繪出整體的圖像，清晰可見中國自改革開放以來各方面長足的發展。

[75] 典型的燃煤或核電廠的發電量約為 1 GW 或更少。

[76] 但第二階段中的常規蒸汽渦輪機 (由反應堆的熱輸出驅動蒸汽輪機) 是由英國製造，並非法國公司沒能力一口氣承擔，而是在 1997 年之前，香港的中電受到英國政府在背後操控。

[77] 本質安全乃指停機是只依靠物理定律，無須依賴工程設計或人為介入。

第六章　基礎科學

上文列舉近年中國科技的成就，但當中甚少基礎科學的例子。首先必須澄清，上述各個例子傾向技術範疇 (而非基礎科學) 並非我個人的偏好。中國大多數的論者，包括官方媒體和國家科技領導，都會大致同意以上的選項，認為這些工作是最標誌性的成就。因此，上述例子不僅反映科技成就的概況，更反映國家政策的傾向。其次，若以基礎科學而言，最高水平的成就實在屈指可數，這點必須承認。

為使論述客觀，避免偏見，尤其是避免過分自詡，以下參考公認的國際大獎項，以作篩選。[78] 屠呦呦在 2015 年獲頒諾貝爾獎，但有關的研究在 1970 年代已經完成。就現今 21 世紀科學發現而言，中國只有兩項研究獲得國際大獎：其一是中微子的嬗變，其二是血漿內的脫氧核糖核酸 DNA，分別獲得 2016 年和 2021 年的突破獎。有關中微子嬗變的工作，中國科學家佔了約一半的功勞，中大同仁亦參與其中。至於血漿內 DNA 的發現，則完全是中大的研究，後續發展更上層樓。以上兩項成就當然值得我們高興 (中大師生更感自豪)，[79] 但遺憾的是，正如上述，除此以外簡直乏善足陳。

6.1 中微子的嬗變

(朱明中教授為本節提供寶貴意見，特此鳴謝。)

中微子 neutrino 是最難以捉摸的基本粒子，近乎無影無蹤，它們與物質幾乎沒有相互作用，因此難以察覺。鮑利 Pauli 在 1930 年最先提出中微子的說法，當時它尚未發現，鮑利用它來解釋在 β 衰變中消失的能量和動量。[80] 中微子有幾款：第一款 ν_e 於 1956 年首次被發現，[81] 第二款 ν_μ 於 1962 年被發現，第三款 ν_τ 於 2000 年被發現 (當時已屬預期之中)。諾貝爾獎頒授及表揚的是首兩款的發現。[82]

太陽透過核融合產生光及熱，過程中同時產生中微子 ν_e 這種副產品。產生中微子的數量與太陽釋放的能量成正比，比例可透過已知的物理學知識和可靠的太陽模型來計算，但在地球上正式測量時，中微子的流量只有預期中的一半。[83] 這個謎團最終得到解答：中微子從太陽到地球的路途中發生嬗變，大約一半的 ν_e 變成了其他種類，而檢測器僅能偵測原來的 ν_e 品種。這個解說廣為大眾接受。至於嬗變率，則由三個稱為混合角的參數決定，其中較大的參數 θ_{23} 和 θ_{12} 很容易被量度出，而最小的參數 θ_{13} 當時仍未測定，大亞灣的中微子實驗正是用來量度這個參數。

---

[78] 首先當然是諾貝爾科學獎 (約 100 萬美元)。其次是突破獎 Breakthrough Prize (高達 300 萬美元，但通常由多個團隊分享，每個團隊也可能很大)。而邵逸夫獎 (120 萬美元) 頒發給天文學、生命科學與醫學以及數學領科學域。科維理獎 Kavli Prize (100 萬美元) 頒發給天體物理學、納米科學和神經科學領域。阿貝爾獎 Abel Prize (約 80 萬美元) 是數學獎。以下的獎項較小，不包括在文內：醫學科學領域的拉斯克獎 Lasker Prize 享有盛譽，但規模要小得多 (25 萬美元)。菲爾茲獎 Fields Medal 僅限於年輕數學家，且獎金不多 (約 15,000 美元)。

[79] 並非刻意標榜本校；一切依據客觀的獎項名單。

[80] 嚴格來說，在 β 衰變中會發射反中微子 anti-neutrino，但本文籠統不作區分。

[81] 根據王淦昌十多年前 (在他回國之前) 最先提出的一種方法探測。關於王淦昌可見圖表 3.2。

[82] 費米 Fermi 有句名言：「如果實驗結果符合事先的預料，那只不過是一項量度。」

[83] 費米 Fermi 名言的下句：「如果實驗結果否證假設，這才是真正的科學發現。」

正如所有高能物理的實驗一樣，[84] 實驗組相當龐大，有上百名科學家參與，他們來自多個不同的國家和學術機構。兩個最主要的團隊分別來自中國和美國，前者以高能物理研究所的王貽芳為首，後者由柏克萊加州大學的陸錦標帶領。[85] 他們兩位皆是突破獎的得主。實驗組的其他成員包括中大物理系的朱明中和他的團隊。

實驗的設計概念如下：核反應堆產生中微子 (其實是反中微子，分別從略)。在距離反應堆的不同位置放置偵測器，量度中微子的流量與距離的關係，如果偏離平方反比規律，就是中微子嬗變的證據。大亞灣實驗與法國的另一組實驗處於競爭狀態，儘管大亞灣實驗起步較遲，但具有以下幾項優勢：(1) 大亞灣核電廠共有六個反應堆 (法國有關的核電廠只有兩個)，因此中微子束比較強。(2) 大亞灣的偵測器遠比法國的大，能捕捉更多事例。(3) 大亞灣附近有小山丘 (相比法國的平地)，因此能夠在山下挖掘隧道，置於其中的儀器受厚層的岩土覆蓋，宇宙射線被過濾和隔除，將干預訊號的「噪音」減到最低。[86] 因此，大亞灣的中微子實驗後來居上，最早成功量度出精確的結果 (An et al., 2012, 2013)。如上所述，這項工作在幾年後獲得突破獎。

讀者可能會問：以上的發現實際上有何用處？簡單來說是「毫無用處」，儘管從長遠來看，實驗中或會發展出來技術，日後或有所應用。大家或許不知，萬維網 WWW 的發明正正是由大型的高能物理實驗中衍生出來。然而，所有基礎科學的實際應用都是副產品，科學家致力研究，純粹由好奇心驅動，想更深入了解自然界：例如科學家想了解基本粒子的相互作用，這些難以觸摸的粒子在宇宙進化過程中是否扮演重要的角色？[87]

在此值得一提著名的美國事例，同樣是關於高能物理的。在 1969 年，威爾遜 Wilson 等科學家出席美國國會聽證會，尋求美國政府撥款，以建造新的大型加速器。其中一位議員質問計劃是否有利於「國家安全」。[88] 威爾遜坦言「不會」，議員顯然不滿。威爾遜進一步作出解說，他的發言後來廣為人知，是歌頌基礎科學的優美讚辭：

> 這類科學工作的意義在於我們如何彼此看待、互相尊重，這與人的尊嚴，我們對文化的熱愛有關。關乎的是：我們是否優秀的畫家、出色的雕塑家、偉大的詩人？我的意思是，以上的種種，正是我們敬重的社會特質，也是我們愛國情懷的泉源。這類科學工作與保衛國家毫無關係，若然一定要說有關係的話，那就是這種科學文化活動令我們的國家更值得守護。
>
> (Wilson, 1969, in Congressional testimony, as reported in *APS News*, 2018)

[84] 「高能物理」這個術語通常用於實驗物理學的這一分支，儘管太陽或反應堆產生的中微子，能量實際上非常低。

[85] 陸錦標在香港成長。

[86] 還有一些分別在此略過。

[87] 中微子能嬗變尤其意味著它們必須有靜止質量，它們肯定是暗物質的一部分，暗物質對宇宙結構的演變十分重要，包括星系 (銀河系) 的形成，以致生命的出現。.

[88] 不禁令人想到《孟子・梁惠王上》「亦將有以利吾國乎」的對話。(任大援、劉豐注譯：《孟子》(合肥：安徽人民出版社，2002 年)，頁 1。)

6.2 血漿內的 DNA

(盧煜明教授為本節初稿提供寶貴的意見，特此鳴謝。)

我們全都「知道」兩個所謂的「事實」：(1) DNA 存在於細胞內。(2) 胎兒的血循環與母親的血循環各自獨立，由胎盤隔開，兩者不會混合(母嬰的血型可以不一樣)。儘管教科書的內容正如上述，中大醫學院盧煜明卻證明以上說法並不正確：胎兒的 DNA 可能從細胞漏出並進入本身的血循環，[89] 再透過胎盤進入母親的血循環。這個現象最早是通過一個簡單而巧妙的實驗證明：如果在孕婦血液中發現少量 XY 染色體 (男性的特徵)，最後必定誕下男嬰；但如果在孕婦血液中沒有發現 XY 染色體，則最後必定誕下女嬰。

根據以上的基礎發現，我們隨即可以對胎兒進行基因測試，方法是只須抽取母親少量的血液樣本，而無須入侵性的手法 (Lo et al., 2010)。[90] 最直接的應用是在妊娠早期測試胎兒是否患上唐氏綜合症。在香港，這項測試已成為醫管局提供的標準服務，普遍應用於高危孕婦；更經中大授權，在全球廣泛應用。盧煜明因此獲得 2021 年突破獎。

進階的研究或更重要。若然我們將胎兒視為母體內的一種「異物」，可以通過檢測滲透到血循環中的 DNA 而得其基因特性，那麼其他的異物，如惡性腫瘤，能否同樣被偵測？盧煜明的團隊證實了以下的情況 (Lam et al., 2018)：在鼻咽癌患者接受治療後，檢測他們的血液中有否癌細胞的 DNA 碎片，若有，病情很大機會復發 (宜採用更進取的治療方案，如化療)。然而常規的方法，如照 X光等，是無法檢測到殘餘腫瘤的癌細胞。這種血漿檢測法比傳統方法靈敏得多，因為它在份子層面而非宏觀層面進行。新穎的檢測手段不但能減低癌症復發的死亡人數，而且能應用於高危群組的篩查，令患者可獲早期診斷和治療。現在，透過細胞外核酸的方法為患者進行早期癌症診斷，已在世界各地授權應用。

讀者可參考 Lo et al. (2021) 文中的綜述。

6.3 初探基礎科學薄弱之原因

就中國科技的長遠發展而言，其中一個亟需了解的議題便是基礎科學薄弱的原因，並找出解決辦法。這個議題與科學精神密切相關，因此影響不限於科學界，而是對整個社會有重大意義。當然，中國基礎科學相對薄弱並無單一的特定理由，也無法確立所有人完全同意的一系列理由，足以全面解釋此現象，但無論如何，有若干因素是必須關注。

首先，儒家傳統對基礎科學不利 (儒家傳統在此不一定與孔子本人有關)：過度尊重權威及傳統，[91] 將倫理與社會放在人類關懷的首位，將對自然界的關注邊緣化。至於道家思想則傾向籠統的說法和含糊的關聯性思維，在此亦要負上責任。胡適 (1919) 的諷刺性文章〈差不多先生〉批評的正是國人這種不求精準的態度。

---

[89] 事實上，核糖核酸 RNA 也都如此，但以下提及的兩種應用都主要依賴於 DNA。

[90] 在此之前，標準測試名為羊膜穿刺術：將針頭插入孕婦腹部，從子宮中提取液體，但過程中可能會傷害胎兒。

[91] 因此，「創新」一詞不會出現在儒家詞彙中，更不用說「顛覆性」disruptive 作為對科技發展的褒詞。

其次，中國傳統社會一貫強調實用，不講究尋根究柢、追索緣由，導致基礎科學薄弱。只要生產方法或過程有效，便會依樣葫蘆，甚少追問「為甚麼」。但某程度上，不能怪責我們的祖先以實務為重，畢竟只有在近幾十年，整體中國社會才可以不愁溫飽。抱持純真的好奇心、花費時間和精力探究自然，根本是一種奢侈，只有富裕社會(或是社會上較富裕的少數) 才有條件追求。

再者，計劃經濟一方面有利於針對性的項目，尤其是需要中央的協調及調配長期資源的大型項目，[92] 另一方面卻對創意的基礎科學無益。基礎科學顧名思義是探索未知，而未知是無法被「計劃」的。現在，中國的研究、學術群體呈現嚴重階級分層 (最高層的是官僚)，使科學家被迫追趕硬指標 KPIs ：文章發表的數量、文章被引用的次數、[93] 專利、研究經費等。當人們過分追求硬指標，其實對真正的科學研究是百害而無一利。

還有，從投入資源到收割科技成果，兩者之間必然出現滯後情況，成果是要經年累月孕育的。劉遵義和熊艷艷 (2022) 指出科學的產出和成果之多寡 (以某時期內申請和批准專利的數目為例) 並非取決於當刻的研發投入，而是與前一段時期的投入總和有關。[94] 這個經濟計量觀點是針對整體科技，然而，對於基礎科學而言，尤為適用。事實上，滯後情況不只限於經費投入層面，在本講課引用的許多例子中，皆論證了成果由長期累積而得之說法，如：對科技發展作出重要貢獻的科學家，他們之所以成功，要追溯到他們在大學接受良好的教育，而良好的教育有賴上一代學者建立了完善的學研體系。一切的成果未必當下可見，而是長年累月所得。若然如此，看到近幾十年較顯著的投入，對未來中長期的展望可以是樂觀的。

[92] 內地術語稱為「攻關」項目。

[93] 普遍都知道中國的科學界過分注重科學引文索引 SCI, Science Citation Index，這個指數列出每篇文章被引用的次數。楊福家是復旦大學前校長，也曾擔任英國諾丁漢大學的校監，他戲言 SCI 是代表「愚蠢的中國思想」Silly Chinese Idea (楊福家，私下對談)。

[94] 正如學生的考試表現不主要取決於試前一周的努力，而可能與過去幾年，甚至延伸到與童年的努力有關。

參考資料

(只列出中文版的參考資料，英文版請見延伸閱讀中的 Bibliography。)

一、專書

[東晉] 葛洪《肘後備急方》，北京：商務印書局，1995 年。

任大援、劉豐注譯：《孟子》，合肥：安徽人民出版社，2002 年。

何寧：《淮南子集釋》，北京：中華書局，1998 年。

李約瑟：《文明的滴定》，北京：商務印書館，2016 年。

李約瑟著，上海交通大學科學史系譯：《中華科學文明史》，上海：上海人民出版社，2002 年。

溫契斯特著，潘震澤譯：《愛上中國的人：李約瑟傳》，台灣：時報出版，2010 年。

二、網絡資料

〈中國共產黨第十一屆中央委員會第三次全體會議公報〉：http://cpc.people.com.cn/GB/64162/64168/64563/65371/4441902.html (2022 年 7 月 7 日瀏覽)。

任鴻雋：〈說中國無科學之原因〉，http://www.bjb.cas.cn/tbzt2016/dnzt/sd/jdwz/202008/t20200811_5652538.html (2022 年 5 月 29 日瀏覽)。

郭沫若：〈科學的春天〉，https://baike.baidu.hk/item/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E7%9A%84%E6%98%A5%E5%A4%A9/15420075 (2022 年 6 月 28 日瀏覽)。